基于序贯博弈的云制造平台共享效能研究 *

李　芳，江海涛，谢萍萍†，叶春明

(上海理工大学 管理学院，上海 200090)

摘　要：通过建立序贯博弈模型，分析考察在云制造平台上交易技术与服务的情形，研究云制造平台的共享效能与共享机制，求出模型均衡解并进行稳定性分析，利用案例分情况讨论研发成本不同的情况下云平台及各企业的最优定价策略，比较了云制造环境和传统制造环境下的技术共享差异，研究表明云平台能够有效促进技术共享，但也存在收益分配不公平等问题，对此提出了政策建议。

关键词：云制造；序贯博弈；共享效能；共享机制

中图分类号：F272　　doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2017.12.0796

Research on shared effectiveness of cloud manufacturing platform based on sequential game

Li Fang, Jiang Haitao, Xie Pingping†, Ye Chunming

(*Management school*, *University of Shanghai for Science & Technology*, *Shanghai* 200090, *China*)

Abstract: Based on the establishment of sequential game model, this paper analyzed the situation of trading technology and service on cloud manufacturing platform, studied the sharing efficiency and sharing mechanism of cloud manufacturing platform, obtained the equilibrium solution of the model, carried out the stability analysis, used cases to discuss the optimal pricing strategy of cloud platforms and enterprises under different costs, compared the difference of technology sharing between cloud manufacturing environment and traditional manufacturing environment. The research shows that the cloud platform can effectively promote technology sharing, but there is also an unfair distribution of income distribution. Therefore, some policy suggestions are put forward for the problem.

Key words: cloud manufacturing; game theory; sharing efficiency; sharing mechanism

0　引言

伴随着云制造平台的发展，在其上交易的产品除了制造资源外也出现了技术或服务的交易，如此一来，情况将完全不同。首先，技术或者服务作为一种待售商品，具有非排他性。例如，先进的生产线管理服务或者某种先进的产品工艺技术，一旦研发完成，可以同时供所有人使用。其次，技术或者服务具有可习得性。在商品提供的过程中，消费企业将逐渐习得先进的经验。也就是说，技术或服务不同于制造资源，可以多次重复出售，按使用量计费，它的出售是有限次的，在本文中考虑极端的情形，认为这些商品仅可以出售一次。

云制造这一概念是李伯虎院士于 2010 年首次提出，它是一种利用网络平台按需为用户提供各类制造服务的全新制造模式[1]。目前学术界已开展了大量有关云制造方面的研究工作，包括为云制造体系搭建多层次的架构[2~5]；对云制造中使用的关键技术进行分析处理[6~8]；以及如何将云制造应用到实际中去[9~11]等。企业间的竞合博弈一直都是学者们的研究热点。该部分的研究大致可分为两类，一类以供应链环境为蓝本，分析企业的竞争合作行为。如：黎继子等人[12]分析了两条供应链在同一地域的动态竞合关系，考虑货币时间价值因素建立信息不对称条件下的 Stackelberg 博弈模型，叶飞等基于决策者风险偏好特性对供应链竞合策略进行了研究[13]。另一类以产业集群为背景，研究企业在其中的竞合行为。如宋铁波等人[14]从制度解释的角度入手，构建了一个关于产业发展过程中企业竞争合作战略的理论模型。

不难发现，上述都是在传统制造环境下研究企业的竞合行为。然而全新的云制造环境与传统供应链环境存在着显著的差异。研究云制造环境下企业间竞合行为问题的文章并不多见。本文将企业竞合博弈引入到云制造体系当中，考虑企业在竞争环境下所作出的决策。引入“不良技术”的概念，发现云制造平台虽具有很强的共享效用，但却会促进“不良技术”的研发。就此本文提出了一些政策建议，希望在考虑效率的同时兼顾公平。

收稿日期：2017-12-07；**修回日期：**2018-02-05　　**基金项目：**国家自然科学基金资助项目（71271138）

作者简介：李芳（1966-），女，陕西西安人，副教授，博士，主要研究方向为供应链管理、工业工程、生产运作管理等；江海涛（1989-），男，硕士研究生，主要研究方向为供应链管理；谢萍萍（1993-），女（通信作者），硕士研究生，主要研究方向为供应链管理、物流系统建模与仿真（1483219920@qq.com）；叶春明（1964-），男，教授，博士，主要研究方向为工业工程等.

1　序贯博弈模型的建立

假设在云制造平台上出售的商品是某种先进的生产线管理技术。以 A、B、C 三个企业为例，这里企业 A 是技术可能的出售者，企业 B、C 是技术的可能购买者。企业作出博弈决策的顺序为：企业 A 先作出决策，它可以选择是否研发这项新技术，若研发，随后企业 A 还可以选择是否在市场上将这项技术卖给云制造平台。在 A 做完决策后，企业 B、C 同时作出下一步的决策。博弈的过程如图 1 所示：

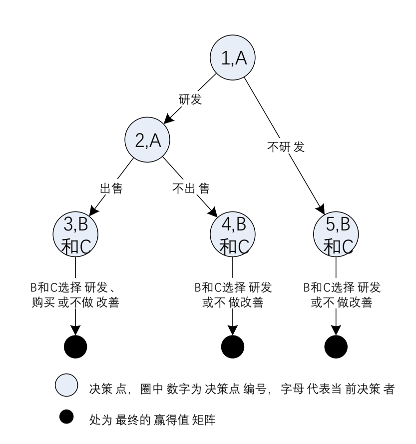


图 1　A、B、C 企业在云平台上的博弈过程图

在博弈树上，决策点 3 存在 9 个下级分支，对应：B 研发 C 研发、B 研发 C 购买、B 研发 C 不做改善等九种情况，每种情况下有一个最终赢得值，本文用赢得矩阵 X 来表示所有可能发生的情况与赢得值。类似的决策点 4、 5 分别存在 4 个下级分支，分别用赢得矩阵 Y 和 Z 来表示所有可能发生的情况与赢得值。

对于赢得值，本文作出如下假设：若企业均不研发以改进管理技术，则三个企业平分现有市场，假设此时三者的赢得值均为 q_0；若一企业拥有先进技术而其余两个企业没有，三企业的总体赢得由于新技术的引进而上升，拥有先进技术的企业将会获得竞争优势，其赢得值为 q_{11}，而技术落后的企业仅能获得赢得值 q_{12}；若两个企业拥有先进技术而仅有一个企业没有，则三企业的总体赢得进一步上升，拥有先进技术的企业的赢得为 q_{21}，而技术落后的企业赢得进一步下降至 q_{22}；若所有企业均获得了该先进技术，三企业的总体赢得继续上升，三企业均分市场，每个企业的赢得都是 q_{31}。此外，记研发成本为 x，技术的市场售价为 p_1，市场回购价为 p_2（p_1、p_2 由云制造平台运营商决定），并且

$$q_{11} > q_{21} > q_{21} > q_{22} > q_{12} > q_{22}$$

据此可以求出赢得矩阵 X、Y、Z 的表达式如下表 1 至 3 所示（括号内的前一个数值表示企业 B 的赢得，后一个数值表示企业 C 的赢得）。

表 1 中的赢得矩阵，若 $p_1 < x$，对于企业 B 和企业 C 而言，购买技术相比自主研发都是完全占优的策略；若 $p_1 > x$，则相对于购买技术而言自主研发是完全占优的策略，p_1 的取值由云平台给定。观察云平台的赢得，若定价在 $p_1 > x$ 上，则表 1 中的第二行与第二列的相对劣决策被消去，此时无论如何云平台的赢得都为全局最小可能值 $-p_2$，因此，云平台一定不会将技术的定价定在研发成本之上，即 p_1 一定小于 x。由此消去表 1 中的第一行与第一列的劣决策。

表 1　决策点 3 下的赢得矩阵 X

	B 企业自主研发	B 企业购买技术	B 企业不做改善
C 企业自主研发	$(q_{31}-x, q_{31}-x)$ A 企业赢得为：$q_{31}-x+p_2$ 云平台赢得为：$-p_2$	$(q_{31}-p_1, q_{31}-x)$ A 企业赢得为：$q_{31}-x+p_2$ 云平台赢得为：p_1-p_2	$(q_{22}, q_{21}-x)$ A 企业赢得为：$q_{31}-x+p_2$ 云平台赢得为：$-p_2$
C 企业购买技术	$(q_{31}-x, q_{31}-p_1)$ A 企业赢得为：$q_{31}-x+p_2$ 云平台赢得为：p_1-p_2	$(q_{31}-p_1, q_{31}-p_1)$ A 企业赢得为：$q_{31}-x+p_2$ 云平台赢得为：$2p_1-p_2$	$(q_{22}, q_{21}-p_1)$ A 企业赢得为：$q_{21}-x+p_2$ 云平台赢得为：p_1-p_2
C 企业不做改善	$(q_{21}-x, q_{22})$ A 企业赢得为：$q_{21}-x+p_2$ 云平台赢得为：$-p_2$	$(q_{21}-p_1, q_{22})$ A 企业赢得为：$q_{21}-x+p_2$ 云平台赢得为：p_1-p_2	(q_{12}, q_{12}) A 企业赢得为：$q_{11}-x+p_2$ 云平台赢得为：$-p_2$

表 2　决策点 4 下的赢得矩阵 Y

	B 企业自主研发	B 企业不做改善
C 企业自主研发	$(q_{31}-x, q_{31}-x)$ A 企业赢得为 $q_{31}-x$；云平台赢得为 0	$(q_{22}, q_{21}-x)$ A 企业赢得为 $q_{21}-x$；云平台赢得为 0
C 企业不做改善	$(q_{21}-x, q_{22})$ A 企业赢得为 $q_{21}-x$；云平台赢得为 0	(q_{12}, q_{12}) A 企业赢得为 $q_{11}-x$；云平台赢得为 0

表 3　决策点 5 下的赢得矩阵 Z

	B 企业自主研发	B 企业不做改善
C 企业自主研发	$(q_{21}-x, q_{21}-x)$ A 企业赢得 q_{22}；云平台赢得为 0	$(q_{12}, q_{11}-x)$ A 企业赢得 q_{12}；云平台赢得为 0
C 企业不做改善	(q_{12}, q_{12}) A 企业赢得 q_{12}；云平台赢得为 0	(q_0, q_0) A 企业赢得 q_0；云平台赢得为 0

C 企业选择购买技术的平均收益（E_m）和不做改善的平均收益（E_{1-m}）分别为

$$E_m = n(q_{31}-p_1)+(1-n)(q_{21}-p_1)$$
$$E_{1-m} = nq_{22}+(1-n)q_{12} \tag{1}$$

其中 m 为 C 企业选择购买技术的概率，1-m 为 C 企业选择不

做改善的概率，n 为 B 企业选择购买技术的概率，1-n 为 B 企业选择不做改善的概率

C 企业期望平均收益为

$$\bar{E}=mE_m+(1-m)E_{1-m} \tag{2}$$

B 企业选择购买技术的平均收益（F_n）和不做改善的平均收益（F_{1-n}）分别为

$$\begin{aligned}F_n&=m(q_{31}-p_1)+(1-m)(q_{21}-p_1)\\F_{1-n}&=mq_{22}+(1-m)q_{12}\end{aligned} \tag{3}$$

B 企业期望平均收益为

$$\bar{E}=nE_m+(1-n)E_{1-m} \tag{4}$$

根据 Malthusian 动态方程，策略的变化率等于其适应度，两类企业博弈的基因复制动态微分方程分别为

$$\begin{aligned}\dot{m}&=m\left(E_m-\bar{E}\right)=m(1-m)[n\left(q_{31}-p_1-q_{22}\right)\downarrow\\&\quad+(1-n)\left(q_{21}-p_1-q_{12}\right)]\\\dot{n}&=n\left(F_n-\bar{F}\right)=n(1-n)\left[m\left(q_{31}-p_1-q_{22}\right)\right]\downarrow+\\&\quad(1-m)\left(q_{21-}p_1-q_{12}\right)]\end{aligned} \tag{5}$$

令 $\dot{m}=0,\dot{n}=0$ 得出决策点 3 下的均衡解为

$$\begin{aligned}&(0,0);(0,1);(1,0);(1,1)\\&\left(\frac{q_{12}+p_1-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}},\frac{q_{12}+p_1-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}}\right)\end{aligned} \tag{6}$$

其中括号左侧表示为 C 企业的概率 m（0 购买技术，1 不改善），式中括号右侧表示 B 企业的概率 n。

然而基因复制动态方程的所求解的均衡点并不一定就是系统的稳定策略，系统的稳定策略可以根据 Friedman 提出的雅克比矩阵的稳定性方法进行局部稳定性分析得到。根据已得出的基因动态方程，对 $\dot{m},\dot{n}$ 分别关于 m和n 求偏导得到雅克比矩阵

$$J=\begin{bmatrix}\frac{\partial\dot{m}}{\partial m}&\frac{\partial\dot{m}}{\partial n}\\\frac{\partial\dot{n}}{\partial m}&\frac{\partial\dot{n}}{\partial n}\end{bmatrix}$$

其中：

$$\frac{\partial\dot{m}}{\partial m}=(1-2m)\left[n\left(q_{31}-p_1-q_{22}-q_{21}+p_1+q_{12}\right)+q_{21}-p_1-q_{12}\right]$$

$$\frac{\partial\dot{m}}{\partial n}=m(1-m)\left(q_{31}-p_1-q_{22}-q_{21}+p_1+q_{12}\right)$$

$$\frac{\partial\dot{n}}{\partial m}=n(1-n)\left(q_{31}-p_1-q_{22}-q_{21}+p_1+q_{12}\right)$$

$$\frac{\partial\dot{m}}{\partial m}=(1-2n)\left[m\left(q_{31}-p_1-q_{22}-q_{21}+p_1+q_{12}\right)+q_{21}-p_1-q_{12}\right] \tag{7}$$

根据 DetJ>0,TrJ<0 进而能够得出关于 5 个均衡点的局部稳定性分析结果，如表 4 所示。

可得决策点 4 下的均衡解为

$$\begin{aligned}&(0,0);(0,1);(1,0);(1,1)\\&\left(\frac{q_{12}-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}},\frac{q_{12}-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}}\right)\end{aligned} \tag{8}$$

又因为 $q_{11}>q_{21}>q_{31}>q_0>q_{12}>q_{22}$

$$0\le\frac{q_{12}-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}}\le1$$

可得约束条件 $q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}<0$ 由决策点 3 的求解，同理可得决策点 4 下的关于 5 个均衡点的局部稳定性分析结果，如表 5 所示。

表 4　决策点 3 下的 5 个均衡点的局部稳定性分析结果

	DetJ(符号)	TrJ（符号）	稳定性结果
（0，0）	+	+($p_1<q_{21}-q_{12}$)	非稳定点
	+	-($p_1>q_{21}-q_{12}$)	ESS
（0，1）	-	+	非稳定点
（1，0）	-	+	非稳定点
（1，1）	+	+($p_1>q_{31}-q_{22}$)	非稳定点
	+	-($p_1<q_{31}-q_{22}$)	ESS
(m^*,n^*)	-	0	鞍点

$$m^*,n^*=\left(\frac{q_{12}+p_1-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}},\frac{q_{12}+p_1-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}}\right)$$

表 5　决策点 4 下的 5 个均衡点的局部稳定性分析结果

	DetJ(符号)	TrJ（符号）	稳定性结果
（0，0）	+	+	非稳定点
（0，1）	-	-	非稳定点
（1，0）	-	-	非稳定点
（1，1）	+	-	ESS
(m^*,n^*)	-	0	鞍点

$$m^*,n^*=\left(\frac{q_{12}-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}},\frac{q_{12}-q_{21}}{q_{31}-q_{22}-q_{21}+q_{12}}\right)$$

决策点 5 下的均衡解为

$$\begin{aligned}&(0,0);(0,1);(1,0);(1,1)\\&\left(\frac{q_0-q_{11}}{q_{21}-q_{11}-q_{12}+q_0},\frac{q_0-q_{11}}{q_{21}-q_{11}-q_{12}+q_0}\right)\end{aligned} \tag{9}$$

因为 $0\le m^*=n^*=\frac{q_0-q_{11}}{q_{21}-q_{11}-q_{12}+q_0}\le1$ 可得约束条件 $q_{21}-q_{11}-q_{12}+q_0<0$ 关于 5 个均衡点的局部稳定性分析结果，如表 6 所示。

表 6　决策点 5 下的 5 个均衡点的局部稳定性分析结果

	DetJ(符号)	TrJ（符号）	稳定性结果
（0，0）	+	+	非稳定点
（0，1）	-	-	非稳定点
（1，0）	-	-	非稳定点
（1，1）	+	-	ESS
(m^*,n^*)	-	0	鞍点

$$m^*,n^*=\left(\frac{q_0-q_{11}}{q_{31}-q_{11}-q_{12}+q_0},\frac{q_0-q_{11}}{q_{31}-q_{11}-q_{12}+q_0}\right)$$

2　序贯博弈模型案例分析与求解

计算上述模型需运用逆向归纳法进行求解，具体求解算法流程如图 2 所示。

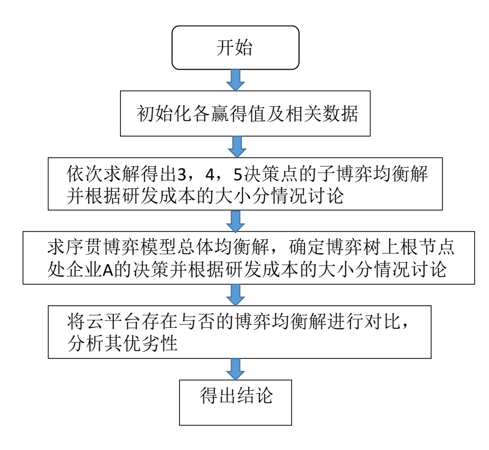


图 2　序贯博弈求解云平台上企业决策算法流程

假设若企业均不研发以改进管理技术，则三个企业平分现有市场，假设此时三者的赢得值均为 10；若一企业拥有先进技术而其余两个企业没有，三企业的总体赢得由于新技术的引进而上升，达到 34，拥有先进技术的企业将会获得竞争优势，其赢得值为 18，而技术落后的企业仅能获得赢得值 8；若两个企业拥有先进技术而仅有一个企业没有，则三企业的总体赢得进一步上升至 35，拥有先进技术的企业的赢得为 14，而技术落后的企业赢得进一步下降至 7；若所有企业均获得了该先进技术，三企业的总体赢得上升至 36，三企业均分市场，每个企业的赢得都是 12。

用逆向归纳法求解上述序贯博弈的均衡解。首先分别求解决策点 3、4、5 下的子博弈均衡解。

2.1　决策点 3 下的子博弈均衡求解

技术市场价格 p_1 的不同大小，可得不同情况下的子博弈均衡解：

$p_1<5$ ($p_1<q_{31}-q_{22}$) 时，决策点 3 下的子博弈均衡解为 B、C 两企业均购买技术。此时云平台的赢得为 $2p_1-p_2$； $p_1>6$ ($p_1>q_{21}-q_{12}$) 时，决策点 3 下的子博弈均衡解为 B、C 两企业均不做任何改善。此时云平台的赢得为 $-p_2$； $5\le p_1\le 6$ 时。决策点 3 下的子博弈均衡解为,企业 B 以 $p_b=6-p_1$ 的概率选择购买技术，以 p_1-5 的概率选择不做任何改善；企业 C 以 $p_c=6-p_1$ 的概率选择购买技术，以 p_1-5 的概率选择不做任何改善。均衡时的期望赢得为 $\pi_b=\pi_c=2+p_1$。此时云制造平台的期望赢得为 $-2p_1^2+12p_1-p_2$。

由于云制造平台有技术的定价权，由其最大化自身利润的目标，可以从以上三点中得出云平台对技术价格 p_1 的定价策略。对研发成本 x 分类讨论如下：

a) $x<5$ 时。由于定价 p_1 必须满足 $p_1<x$，故定价一定在 $p_1<5$ 区内。此时，企业 B 和企业 C 都会选择购买技术，云平台的赢得为 $2p_1-p_2$，随 p_1 增大而增大，因此云制造平台会把技术的价格定在略低于 x 的水平上，以获取最大利润。

b) $5<x<6$ 时。云制造平台可以选择将定价 p_1 定在区间 $p_1<5$ 或 $5\le p_1<x$ 上。当定价在 $5\le p_1<x$ 上时，云平台的期望赢得为 $-2p_1^2+12p_1-p_2$，随 p_1 增大而减小，最大值在 $p_1=5$ 时取到，为 $10-p_2$；当定价在 $p_1<5$ 上时，赢得为 $2p_1-p_2$，小于前者。故云制造平台在该情况下会将技术的售价定为 5。

c) $6<x$ 时。云制造平台可以选择将定价 p_1 定在区间 $p_1<5$ 或 $5\le p_1\le 6$　或 $6<p_1<x$ 上。若定在最后一个区 $x<5$ 间上，其赢得为 $-p_2$，显然不是最优的。故，云制造平台在该情况下仍会将技术的售价定为 5。

由此，决策点 3 下的子博弈均衡解为：

$x<5$ 时，云制造平台给出技术的报价为略低于 x 的价格，记为 $x-\varepsilon(\varepsilon\to 0)$。企业 B 和 C 都会购买技术，最终赢得为 $(12-x+\varepsilon,12+x-\varepsilon)$，企业 A 的赢得为，云平台的赢得为 $2x-2\varepsilon-p_2$； $x>5$ 时，云制造平台给出技术的报价为 5。企业 B 和 C 仍会购买技术，最终赢得为(7,7)，企业 A 的赢得为 $12-x+p_2$，云平台的赢得为 $10-p_2$。

2.2　决策点 4 下的子博弈均衡求解

根据研发成本 x 的不同大小，分类讨论：$x<5$ 时，对于表 2 所示的赢得矩阵 Y，此时决策点 4 下的子博弈均衡解为 B、C 两企业均自主研发产品；$x>6$ 时，对于表 2 所示的赢得矩阵 Y，此时决策点 4 下的子博弈均衡解为 B、C 两企业均不做任何改善； $5\le x\le 6$ 时，该子博弈只能得到混合策略集下的均衡解，假设企业 B 以概率 p_b 选择策略自主研发，以概率 $1-p_b$ 选择策略不做改善，企业 C 以概率 p_c 选择策略自主研发，以概率 $1-p_c$ 选择策略不做改善，则企业 B 和企业 C 的期望赢得分别为：

$$\begin{aligned}\pi_b&=(6-x-p_c)p_b+(8-p_c)\\ \pi_c&=(6-x-p_b)p_c+(8-p_b)\end{aligned}\tag{10}$$

由混合策略意义下的博弈均衡条件——每个局中人独自改变自身决策无法增加其赢得，有 $\frac{\partial\pi_b}{\partial p_b}=\frac{\partial\pi_c}{\partial p_c}=0$，代入式 5.1 可得均衡解 $p_b=p_c=6-x$，以及均衡时的期望赢得 $\pi_b=\pi_c=2+x$。同时可以计算出企业 A 的期望赢得为 $2x^2-17x+42$，云制造平台的期望赢得显然为 0。

同决策点 4 下的子博弈均衡求解过程完全类似，根据研发成本 x 的不同大小，可得决策点 5 不同情况下的子博弈均衡解。

2.3　序贯博弈模型的总体均衡解

求解该序贯博弈模型的最后一步，根据 A 的期望赢得，确定博弈树上根节点处企业 A 的决策。仍然根据研发成本 x 的不同大小，分类讨论如下：

情形 1　$x\le 5$ 时，根据子博弈的均衡解化简后的博弈树如图 3 所示。

图中粗线即为最后的均衡解。当研发成本小于 5 时，企业 A 会选择研发技术并在云制造平台上出售，出售价格 p_2 稍大于 0。企业 B 和企业 C 会选择在平台上购买该技术，购买价格 p_2 略小于研发成本。企业 A、B、C 和云制造平台的赢得分别为

$12-x$、$12-x$、$12-x$ 与 $2x$。

情形 2　$5<x\le 6$ 时，根据子博弈的均衡解化简后的博弈树如图 4 所示。

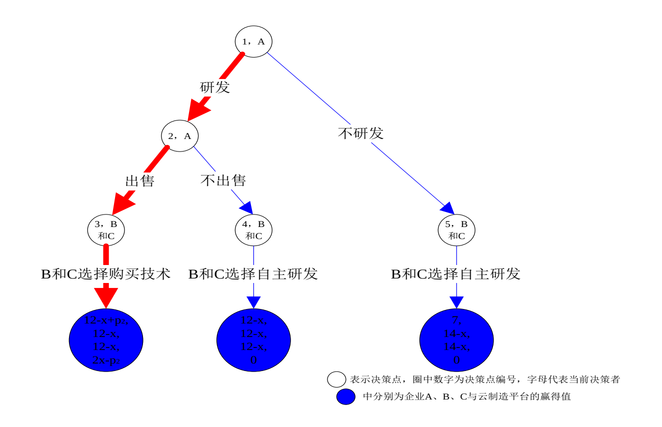


图 3　$x\le 5$ 时的序贯博弈均衡解

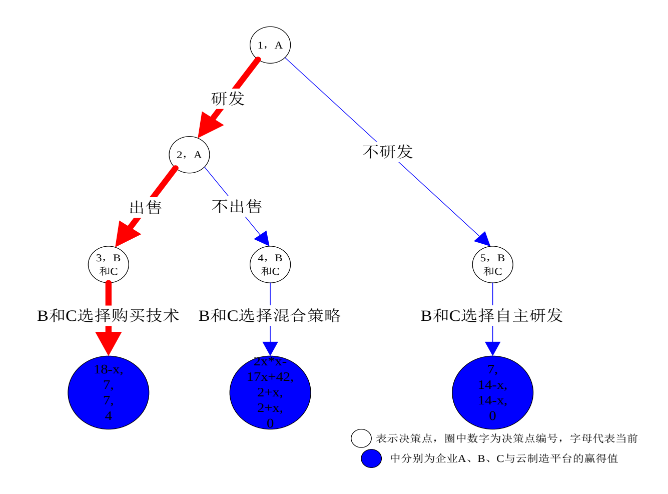


图 4　$5<x\le 6$ 时的序贯博弈均衡解

云制造平台为了获利，必须达到如图中粗线所示的均衡解。为此，对技术的收购定价必须满足：

$$10>p_2>(2x^2-17x+42)-(12-x) \tag{11}$$

上式右端在 $x\in(5,6]$ 时最大值为 6，由于收购价格越低，云制造平台获利越大，故收购技术的价格定在 6 即可。此时，企业 A 会选择研发技术并在云制造平台上出售，出售价格 p_2 为 6。企业 B 和企业 C 会选择在平台上购买该技术，购买价格 p_2 为 5。企业 A、B、C 和云制造平台的赢得分别为 $18-x$、7、7 与 4。

情形 3　$6<x\le 8$ 时，根据子博弈的均衡解化简后的博弈树如图 5 所示。

云制造平台为了获利，必须达到如图中粗线所示的均衡解。为此，对技术的收购定价必须大于 6。由于收购价格越低，云制造平台获利越大，故收购技术的价格定在 6 即可。注意，最右边路径的在 $x\in(6,8]$ 时最大值为 10，小于中间路径的最小赢得值，故为劣解。此时，企业 A 会选择研发技术并在云制造平台上出售，出售价格 p_2 为 6。企业 B 和企业 C 会选择在平台上购买该技术，购买价格 p_2 为 5。企业 A、B、C 和云制造平台的赢得仍然为 $18-x$、7、7 与 4。

情形 4　$8<x\le 12$ 时，根据子博弈的均衡解化简后的博弈树如图 6 所示。

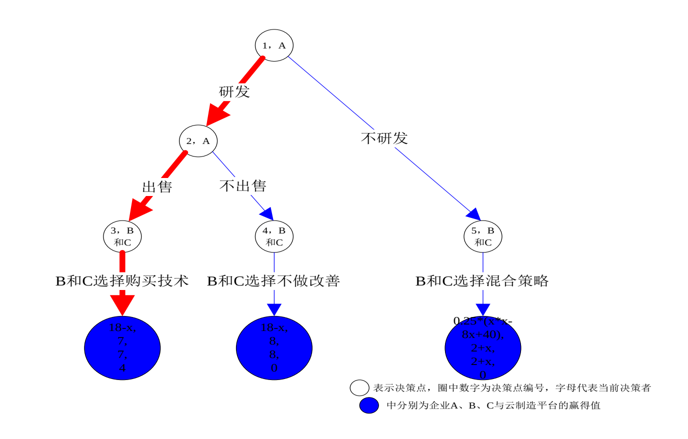


图 5　$6<x\le 8$ 时的序贯博弈均衡解

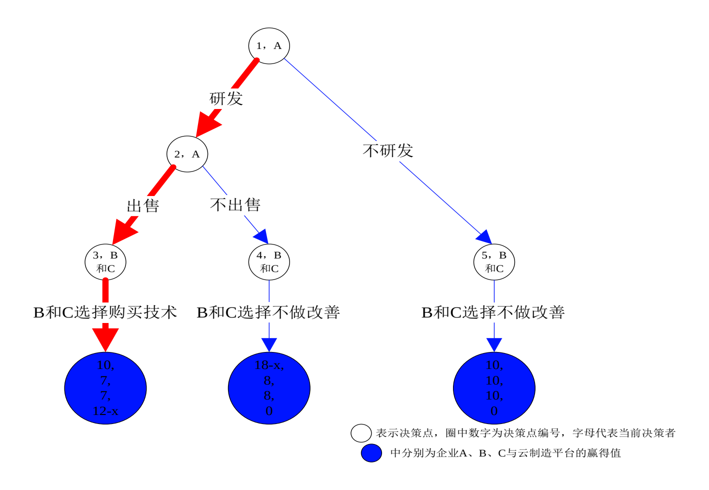


图 6　$8<x\le 12$ 时的序贯博弈均衡解

云制造平台为了获利，必须达到如图中粗线所示的均衡解。为此，对技术的收购定价必须要保证 $p_2>x-2$。由于收购价格越低，云制造平台获利越大，故收购技术的价格定在 $x-2$ 即可。此时，企业 A 会选择研发技术并在云制造平台上出售，出售价格 p_2 为 $x-2$。企业 B 和企业 C 会选择在平台上购买该技术，购买价格 p_2 为 5。企业 A、B、C 和云制造平台的赢得分别为 10、7、7 与 $12-x$。

情形 5　$12<x$ 时。此时由于研发技术成本太高，云制造平台从企业 B 和 C 获得的最大收入 10 已无法支付企业 A 出售技术的价格 $x-2$ 了，故此时 A 不会研发技术，企业 B、C 也不会作出改善。（均衡路径如图 6 中最右路径所示）

3　云制造平台的共享效能

从上文中可以发现云制造平台通过控制所交易技术的销售和回购价格，很大程度上影响了企业的决策过程，促成技术共享从而避免资源浪费。本文将平台不存在时的序贯博弈均衡解也求出，并与上文中的解做以对比。其结果如表 7 所示。

表 7　云平台存在与否的博弈均衡解对比表

研发成本	无云制造平台情况下		存在云制造平台情况下	
情形 1 $x \le 5$	企业 A	$12-x$	企业 A	$12-x$
	企业 B	$12-x$	企业 B	$12-x$
	企业 C	$12-x$	企业 C	$12-x$
	云平台	------	云平台	$2x$
	总体	$36-3x$	总体	$36-x$
情形 2 $5<x\le 6$	企业 A	$2x^2-17x+42$	企业 A	$18-x$
	企业 B	$2+x$	企业 B	7
	企业 C	$2+x$	企业 C	7
	云平台	------	云平台	4
	总体	$2x^2-15x+46$	总体	$36-x$
情形 3 $6<x\le 8$	企业 A	$18-x$	企业 A	$18-x$
	企业 B	8	企业 B	7
	企业 C	8	企业 C	7
	云平台	------	云平台	4
	总体	$34-x$	总体	$36-x$
情形 4 $8<x\le 12$	企业 A	10	企业 A	10
	企业 B	10	企业 B	7
	企业 C	10	企业 C	7
	云平台	------	云平台	$12-x$
	总体	30	总体	$36-x$
情形 5 $12<x$	企业 A	10	企业 A	10
	企业 B	10	企业 B	10
	企业 C	10	企业 C	10
	云平台	------	云平台	0
	总体	30	总体	30

3.1　模型结论与分析

通过对比表 5 中的数据，得出三点重要结论。现将结论和它的成因解释如下：

a)云制造平台出于自身利益最大化的考虑，会尽可能的促成市场的交易。云制造环境能有效打破企业的技术垄断，加速新技术推广，促进行业的发展。

b)从行业整体发展角度来看，并非所有的技术研发都是有效的。在上面的例子中的一些技术的开发对整个行业来说，这样的技术会得不偿失，本文可以将这种技术称之为“不良技术”。表 5 中情形 3~5 所开发的技术均是“不良技术”。

在现实中，这样的例子也比比皆是。某项技术的收益和成本的时期不匹配，技术开发的收益能在短期内显现出来，而巨大的成本却要经过很长时间后才会逐渐呈现。短视的企业会为了一己私利而研发这种技术，在短期内赚足收益，而在长期内让整个行业为止付出代价。上表中的情形三就是这样的典型例子，企业 A 为了一己私利，研发“不良技术”，其个体收入较研发之前有所提高，但行业中其他企业 B 和 C 的收益却下降了。遗憾的是，云制造平台不仅不能阻止这种情况的发生，还会出于自己的私利，推动这种“不良技术”的开发。如上表中情形四所示，本来因为研发成本过大而不会被研发出来的“不良技术”，因为云制造平台的存在而被开发了出来。这种情况下，后动企业处于一种囚徒困境状态——如果单方面不开发这项技术，就会处于绝对的技术劣势，从而获得最低的市场利润。云制造平台充分的利用这一心里，将先动企业开发出的“不良技术”卖给它们。为了能让先动企业开发出“不良技术”，云制造平台将转售技术所得的收入部分的返回给先动企业，以降低其研发成本。这样，在云制造平台不存在时开发不出的“不良技术”就被研究了出来。想要抑制这种情况，市场机制已无能为力，只能靠政府机构的监管介入。

即使云制造平台使得行业总体的利润提高了，也不一定能保证行业中每个企业的情况都变好。事实上，比较表 5 中后动企业 B 和 C 的收益,即使云制造平台使得行业总体的利润提高了，也不一定能保证行业中每个企业的情况都变好。事实上，比较表 5 中后动企业 B 和 C 的收益不难发现，云制造平台存在的情况下，后动企业的境况一定不会变好，最多也只能保持与无云制造平台时的利润相同。这种情况的产生来源于企业的“后动劣势”，即后做决策的企业处于序贯博弈的不利位置。以文中例子来说，就是先动的企业 A 已经研发好了新技术，后动的企业 B 和 C 如果单方面不获取新技术，就会处于最不利的位置，而它们又无法形成有效的约定，共同抵制“不良技术”的开发。所以即使技术的获取成本大于收益，企业仍然只能选择去开发或者购买这项技术。

3.2　政府行为的必要性与政策建议

如前文所述，云制造平台确实有巨大的共享效能，引入的市场机制可以有效推动新技术的推广，避免重复研发的发生，但也存在着两个致命缺陷：一是总体效率问题，即对行业整体而言，云制造平台无法确保研发的技术是有效的；二是分配公平问题，即对云制造平台上的技术购买企业而言，云制造平台并未能给其一个公平的利润分配。为了解决效率和公平这两个问题，政府的介入是必要的。为解决效率问题，政府必须确保“不良技术”不会被研发出来，从源头上杜绝“不良技术”交易带来的效率问题。一种可行的办法是制定法律法规，明令禁止使用“不良技术”，　对使用者收取高额的罚金，使其研发“不良技术”无利可图。为解决公平问题，政府可以对云制造平台征税，对购买新技术的企业进行补贴或者转移支付，或者为平台上销售的技术设定最高限价。如此一来，行业总体提高的利润将会合理的分配到各个局中人身上，达成一种和谐共赢的状态。

4　结束语

本文通过建立序贯博弈模型，分析了云制造环境下企业共享技术的可行性，阐明了云制造平台的共享效能。本文研究得出了如下重要结论：

a)云制造平台能有效促进新技术的共享，避免重复研发情况的发生。

b)云制造平台无法保证在其上交易的技术都是全局有效的。云环境得到的博弈均衡解可能是局部而非全局的最优解。更糟糕的是，云制造环境可能会对某些“不良技术”的研发起促进作用，产生并加剧恶性竞争现象。对此政府必须介入进行管制，必要时可采取某些强制措施。

c)云制造环境对后动的技术购买企业利润分配不公，由于云制造平台在与企业的交易中占有绝对的优势，其获利过大。这严重的降低了企业加入云制造环境的积极性，是云制造体系建设的强大阻碍。对此，政府应采用税收和补贴的方式，保证整个云制造体系的分配公平，促进云制造环境健康蓬勃发展。

参考文献：

[1] 李伯虎，张霖，王时龙，等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式 [J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16 (01): 1-7+16.

[2] Luo Y L, Zhang L, Tao F, *et al.* A modeling and description method of multidimentional information for manufacturing capability in cloud manufacturing system [J]. Int J Adv Manuf Technol (2013) 69: 961–975.

[3] 范文慧，肖田元. 基于联邦模式的云制造集成体系架构 [J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17 (3): 469-476.

[4] Zhang L, Luo Y L, Tao F, *et al.* Cloud manufacturing: a new manufacturing paradigm [J]. Enterprise Information Systems, 2014, 8 (2): 167-187.

[5] 程幼明，吴英，龚本刚，等. 众包：一种云制造的运作模式 [J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23 (6): 1167-1175.

[6] 陶飞，张霖，郭华，等. 云制造特征及云服务组合关键问题研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17 (3): 477-486.

[7] Ning F H, Zhou W Z, *et al.* The architecture of Cloud Manufacturing and its key technologies research [C]// Proceedings of IEEE CCIS, 2011: 259-263.

[8] 张倩，齐德昱. 公共制造云服务平台架构及其支撑技术研究 [J]. 计算机应用研究, 2013, 30 (8): 2266-2268, 2272.

[9] 薛建勋. 云制造应用研究 [J]. 中国制造业信息化, 2012, 41 (13): 48-49+54.

[10] 王时龙，郭亮，康玲，等. 云制造应用模式探讨及方案分析 [J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18 (7): 1637-1643.

[11] 林廷宇，杨晨，谷牧，等. 面向航天复杂产品的云制造应用技术 [J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22 (4): 884-898.

[12] 黎继子，刘春玲，蔡根女. 集群式供应链的链间动态博弈合作决策分析 [J]. 管理工程学报, 2006, (4): 20-24.

[13] 叶飞，林强，郑银粉. 基于决策者风险偏好特性的供应链竞合策略研究 [J]. 运筹与管理, 2017, 26 (5): 81-88.

[14] 宋铁波，钟槟. 合法性作为目标还是工具?产业发展过程中企业竞合战略的制度解释 [J]. 科学学与科学技术管理, 2012, 33 (4): 89-95.